

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-186036

(43)公開日 平成6年(1994)7月8日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 1 C 15/00

G 0 1 B 11/00

識別記号

A 8201-2F

H 8708-2F

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数4(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平4-353833

(22)出願日 平成4年(1992)12月16日

(71)出願人 000206211

大成建設株式会社

東京都新宿区西新宿一丁目25番1号

(72)発明者 松本三千緒

東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内

(72)発明者 仲野孝一

東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内

(72)発明者 神崎正

東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内

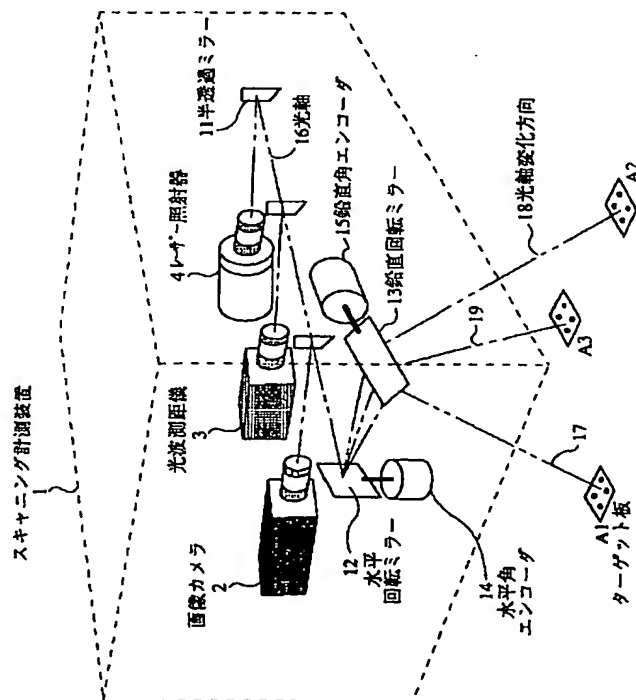
(74)代理人 弁理士 山口 朔生 (外1名)

(54)【発明の名称】 3次元位置計測装置

(57)【要約】

【目的】鉄骨建て方位置決めに適している3次元位置を計測できる装置を提供することにある。

【構成】画像カメラ、回転ミラー、エンコーダを有する画像スキャニング装置とコンピュータを用いて、3か所以上の既知の位置にあるターゲット板を測定し、画像処理を行うことにより画像スキャニング位置、及び鉄骨位置を計測することができる3次元位置計測装置にある。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】既知の位置に配置された少なくとも3個のターゲット板を利用して3次元の位置を計測する3次元位置計測装置において、

光照射装置と、

画像カメラと、

該光照射装置と該画像カメラの一致した光軸の方向を変化させる光軸変化装置と、

該光軸変化装置により該一致した光軸を変化させた光軸変化方向を検知する光軸検知装置と、

該各ターゲット板の既知の位置を記憶する記憶装置と、

該各ターゲット板を該画像カメラにより撮影した際に該光照射装置で照射された該各ターゲット板の光スポットの位置を参照して該光軸変化装置により調整された各光軸変化方向、及び各ターゲット板の既知の位置とを利用して該3次元計測装置の3次元位置を計測する演算装置と、

を備えていることを特徴とする3次元位置計測装置。

【請求項2】少なくとも3個のターゲット板上に各々照射されている既知の位置となる光スポットを利用して3次元の位置を計測する3次元位置計測装置において、

画像カメラと、

該画像カメラの光軸の方向を変化させる光軸変化装置と、

該光軸変化装置により該一致した光軸を変化させた光軸変化方向を検知する光軸検知装置と、

該各ターゲット板上の光スポットの既知の位置を記憶する記憶装置と、

該各ターゲット板を該画像カメラにより撮影した際に該光照射装置で照射された該各ターゲット板上の光スポットの位置を参照して該光軸変化装置により調整された各光軸変化方向、及び各該ターゲット板上の光スポットの既知の位置とを利用して該3次元計測装置の3次元位置を計測する演算装置と、

を備えていることを特徴とする3次元位置計測装置。

【請求項3】既知の位置に配置された少なくとも3個のターゲット板を利用して、目標物の3次元位置を計測する3次元位置計測装置において、

光照射装置と、

画像カメラと、

該光波測距儀と該画像カメラの一致した光軸の方向を変化させる光軸変化装置と、

該光軸変化装置により該一致した光軸を変化させた光軸変化方向を検知する光軸検知装置と、

該各ターゲット板の既知の位置を記憶する記憶装置と、

該各ターゲット板を該画像カメラにより撮影した際に該光照射装置で照射された該各ターゲット板の光スポットの位置を参照して該光軸変化装置により調整された各光軸変化方向、及び各ターゲット板の既知の位置とを利用して該3次元計測装置の3次元位置を求めると共に、該

目標物を該画像カメラにより撮影した時の各光軸変化方向、該目標物までの距離、及び該3次元計測装置の3次元位置を用いて、該目標物の3次元位置を計測する演算装置と、

を備えていることを特徴とする3次元位置計測装置。

【請求項4】少なくとも3個のターゲット板上に各々照射される既知の位置となる光スポットを利用して、目標物の3次元位置を計測する3次元位置計測装置において、

10 画像カメラと、

該画像カメラの光軸の方向を変化させる光軸変化装置と、

該光軸変化装置により該一致した光軸を変化させた光軸変化方向を検知する光軸検知装置と、

該各ターゲット板上の光スポットの既知の位置を記憶する記憶装置と、

該各ターゲット板を該画像カメラにより撮影した際に該光照射装置で照射された該各ターゲット板上の光スポットの位置を参照して該光軸変化装置により調整された各

20 光軸変化方向、及び各該ターゲット板の既知の位置とを利用して該3次元計測装置の3次元位置を求めると共に、

該目標物を該画像カメラにより撮影した時の各光軸変化方向、該目標物までの距離、及び該3次元計測装置の3次元位置を用いて、該目標物の3次元位置を計測する演算装置と、

を備えていることを特徴とする3次元位置計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、3次元の位置計測に関するものである。特に、鉄骨建て方位置決めに適している3次元位置計測に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来、3次元位置を計測する方法として、トランシットやレベル、測距儀などの測量装置を組み合わせて、専門技術者が計測する方法、GPSなどの測位衛星を利用する方法、又は複数の写真を解析して計測する方法などがある。また、鉄骨の建て方においては、トランシットやレベルなどを用いて、測量技術者が目視による計測（測量）を行っていた。まず、基準壘と呼ばれる基準点と測定する対象の鉄骨との相対位置を測量し、設計値からのズレ量を算出し、鉄骨建て方位置の修正指示を行っていた。トランシット以外にもトータルステーションと呼ばれる測距・測角儀を使用する方法もとられるが、いずれも測量技術者が目視によって視準する必要があった。

## 【0003】

【発明が解決しようとする問題点】従来技術には、以下のような問題点がある。

<イ>測量装置を組み合わせて計測する場合には、専門技術者を必要とし、更に、測定作業に人手が掛かり、デ

ータの解析の時間も必要なため測定時間の短縮が難しい。

<ロ>、測位衛星の場合には電波が受信できる環境でなければ測定できないため、建物内部や屋根などがある場所では使用できない。

<ハ>写真解析では写真撮影時に精度が要求されること、および解析作業に人手と時間がかかるためリアルタイムな測定ができない。

<ニ>鉄骨建て方作業にあたっては専門の測量技術者が行う必要がある。

<ホ>測定作業は人間が視準しながら行うので、測定する鉄骨の数が多い場合は、測定時間が増大し、施工が遅延する問題がある。

<ヘ>鉄骨の中心位置を測定する関係から、ゲージやミラーなどの突起物を鉄骨に取り付ける必要があり、施工性が悪いと共に、施工時の障害物になる。

<ト>建て方施工の自動化を行う場合、従来技術では対応できない。

#### 【0004】

【本発明の目的】本発明は、3次元の位置を高精度で、高速化して計測できる3次元位置計測装置を提供することにある。また、本発明は、鉄骨建て方位置決めに適している3次元位置計測装置を提供することにある。

#### 【0005】

【問題点を解決するための手段】本発明は、既知の位置に配置された少なくとも3個のターゲット板を利用して3次元の位置を計測する3次元位置計測装置において、光照射装置と、画像カメラと、該光照射装置と該画像カメラの一致した光軸の方向を変化させる光軸変化装置と、該光軸変化装置により該一致した光軸を変化させた光軸変化方向を検知する光軸検知装置と、該各ターゲット板の既知の位置を記憶する記憶装置と、該各ターゲット板を該画像カメラにより撮影した際に該光照射装置で照射された該各ターゲット板の光スポットの位置を参照して該光軸変化装置により調整された各光軸変化方向、及び各ターゲット板の既知の位置とを利用して該3次元計測装置の3次元位置を計測する演算装置とを備えていることを特徴とする3次元位置計測装置、又は少なくとも3個のターゲット板上に各々照射されている既知の位置となる光スポットを利用して3次元の位置を計測する3次元位置計測装置において、画像カメラと、該画像カメラの光軸の方向を変化させる光軸変化装置と、該光軸変化装置により該一致した光軸を変化させた光軸変化方向を検知する光軸検知装置と、該各ターゲット板上の光スポットの既知の位置を記憶する記憶装置と、該各ターゲット板を該画像カメラにより撮影した際に該光照射装置で照射された該各ターゲット板上の光スポットの位置を参照して該光軸変化装置により調整された各光軸変化方向、及び各該ターゲット板上の光スポットの既知の位置とを利用して該3次元計測装置の3次元位置を計測す

る演算装置とを備えていることを特徴とする3次元位置計測装置などにある。

【0006】以下、図面を用いて本発明の実施例を説明する。本発明の実施例の概要は、まず、画像スキャニング装置1の3次元の位置を求める。そのためには、既知の位置にある3個以上のターゲット板A1、A2、A3を用い、画像スキャニング装置1の画像カメラ2でターゲット板を撮影した際、ターゲット板を視準した方向（エンコーダ12、13の角度）を求め、この方向（角度）、及び、ターゲット板の既知の位置を演算して画像スキャニング装置の3次元位置を求めることにある。さらに、画像スキャニング装置1の位置が求まった後は、これを基準として、画像カメラ2の焦点距離または光波測距儀で求めた目標物までの距離とエンコーダ14、15で測定された方向により目標物（建て込み中の鉄骨）の3次元の位置を演算して求めることにある。

#### 【0007】<イ>画像スキャニング装置1

画像スキャニング装置1は、画像カメラ2、光波測距儀3、レーザー照射器4、これら光軸を合わせるための複数の半透過ミラー11、水平回転ミラー（光軸変化装置）12、鉛直回転ミラー（光軸変化装置）13、水平回転ミラー（光軸変化装置）の回転角度を計測する水平角エンコーダ（光軸検知装置）14、鉛直回転ミラー（光軸変化装置）13の回転角度を計測する鉛直角エンコーダ（光軸検知装置）15を備えている（図1参照）。画像カメラ2、光波測距儀3、レーザー照射器4の共通の光軸16は、水平回転ミラー12によって水平方向に走査され、更に、次の鉛直回転ミラー13によって鉛直方向に走査される。その結果、この共通の光軸16が変化して、ターゲット板A1、A2、A3に向かって進む光軸変化方向17、18、19を得ることができる。したがって、画像カメラ2は不動のままで、その光軸16を立体角方向に走査させることが可能となる。これにより、精度を高く、また制御が簡単に光軸16を変化させることができる。この走査できる領域が計測可能範囲となる。ただし、回転ミラー（光軸変化装置）の回転角がわかるように、回転ミラー（光軸変化装置）を回転させるモータにエンコーダ（光軸検知装置）14、15を取り付ける。また、エンコーダ（光軸検知装置）の代りにパルスモータで回転させても、ミラー（光軸変化装置）の回転角を知ることは可能である。ここでは、2つの回転ミラー（光軸変化装置）を用いているが、回転方向を2次元的に変えられる回転ミラー（光軸変化装置）の場合は、1つでも適用できる。また、ミラーに限らず、光の方向を変えることが可能な装置（光軸変化装置）でも適用可能である。3個以上のターゲット板Aを計測可能範囲の既知の位置に配置する。そして、水平回転ミラー12と鉛直回転ミラー12を回転させて、画像カメラ11がターゲット板Aの1個を撮影し、その時の各回転ミラーの回転角を水平角エンコーダ（光軸検知装

置) 14と鉛直角エンコーダ(光軸検知装置) 15を用いて計測する。この計測を各ターゲット板A1、A2、A3について行う。目標物またはターゲット板までの距離の測定は、光波測距儀3または画像カメラ2の焦点距離を利用して行うことができる。

#### 【0008】<ロ>位置計測方法

画像スキャニング装置1の計測範囲内に座標の分かっている点が3点以上あれば、画像スキャニング装置1の座標位置を求めることができる。ターゲット板(A1、A2、A3)を基準点にして、画像スキャニング装置1の位置を求める一例を示す(図1~2参照)。画像スキャニング装置1の画像カメラ1がターゲット板A1を撮影している時、画像カメラ1の光軸16が水平回転ミラー12と鉛直回転ミラー13により、光軸変化方向17に変化させられ、ターゲット板A1の方向に向いている。この光軸変化方向17は、水平、鉛直エンコーダ(光軸検知装置)で測定できる。同様にターゲット板A2、A\*

$$\begin{aligned}(X1-X0)^2 + (Y1-Y0)^2 + (Z1-Z0)^2 &= S1^2 \\(X2-X0)^2 + (Y2-Y0)^2 + (Z2-Z0)^2 &= S2^2 \\(X3-X0)^2 + (Y3-Y0)^2 + (Z3-Z0)^2 &= S3^2\end{aligned}$$

この連立方程式を解いて、三角錐の頂点A0、即ち画像スキャニング装置1の位置を求めることができる。

【0009】角度 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ は、水平角エンコーダ14と鉛直角エンコーダ15では直接測定できないので、一例として、以下のようにして求めることができる(図3参照)。図3の $\alpha 1$ を実際に計測された水平角( $\gamma 1$ 、 $\gamma 2$ )と鉛直角から求める場合を示す。まず、A0より鉛直角エンコーダでの0度方向に垂線Lを下ろし、これと直交する平面Qとの交点をOとする。また、鉛直軸と線分A0A1のなす角度 $\beta 1$ と線分A0A1とのなす角度 $\beta 2$ は鉛直角エンコーダの測定値そのものである。また、水平角 $\gamma$ は水平角エンコーダの測定値( $\gamma 2 - \gamma 1 = \gamma$ )から求まる。したがって、三角錐の $\alpha 1$ は余弦定理より求めることができる。以下に、この一連の計算式を記述する。

$$\begin{aligned}S1 &= L \times \cos(\beta 1) \\S2 &= L \times \cos(\beta 2) \\R1 &= L \times \tan(\beta 1) \\R2 &= L \times \tan(\beta 2) \\L1 &= ((R1 - R2 \times \cos \gamma)^2 + (R2 \times \sin \gamma)^2)^{1/2}\end{aligned}$$

上式と余弦定理より、求める角 $\alpha 1$ は次のようになる。 $\alpha 1 = \cos^{-1}((S1^2 + S2^2 - L1^2) / 2 \times S1 \times S2)$

ここで、 $\cos^{-1}$ 内のLは自動的に消去される。 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ も同様にして求めることができ、画像スキャニング装置自身の3次元座標値が得られる。また、逆に、装置自身の位置が求まれば基準点3点との関係から鉛直角エンコーダが実際の鉛直軸に対して幾ら傾いているか、或いは水平角エンコーダが基準方位(例えば真北など)か

\* 3に対しても光軸変化方向18、19が決まり、これらの方向を測定できる。これらの光軸変化方向17、18、19の3本は一点で交差するので、この交点は三角錐の頂点A0になる。そして、三角錐の稜(光軸変化方向17、18、19の稜の長さS1、S2、S3)の交わる角度 $\alpha 1$ 、 $\alpha 2$ 、 $\alpha 3$ は、光軸変化方向17、18、19が特定されているので、求めることができ、また、ターゲット板(A1、A2、A3)の位置も既知であるため、底面の稜(L1、L2、L3)も求められる。稜の長さ(S1、S2、S3)は余弦定理により下記の関係が得られる。

$$\begin{aligned}S2^2 + S3^2 - 2S2 \times S3 \times \cos \alpha 1 &= L1^2 \\S3^2 + S1^2 - 2S3 \times S1 \times \cos \alpha 2 &= L2^2 \\S1^2 + S2^2 - 2S1 \times S2 \times \cos \alpha 3 &= L3^2\end{aligned}$$

稜の長さ(S1、S2、S3)を用いて、ピタゴラスの定理より、下記の関係が得られる。

ら何度ずれているかを逆算し、演算上で補正することも可能になる。したがって、装置の設置位置は任意で良いことが分かる。なお、本実施例で使用している光軸変化装置は、水平回転ミラーと鉛直回転ミラーの2つを用いているので、両者の回転位置が離れている。したがって、演算・解析を行うに先立ち、回転位置が一致していると等価になるように、ミラー角度の補正処理を行う必要がある。例えば、補正表を予め作成しておき、補正の際に表を参照して補正すれば良い。

#### 【0010】<ハ>鉄骨建て方施工の装置配置

鉄骨建て方施工にあたり、建て方の基準となる基準墨(B1、B2、B3、...)を設ける。その上に、上層階に向かって指示するための鉛直用レーザー装置41、42、43(3カ所以上)を配置する。鉛直用レーザー装置から鉛直方向に発せられた鉛直レーザーは上層階に配置された、すりガラス状のターゲット板(A1、A2、A3)に照射される(図4参照)。この構成により、ターゲット板Aが揺れていても、レーザースポットは一定の位置に照射されるため、常に正確な基準位置を確保することができる。建て込み中の鉄骨5の位置を特定するために、鉄骨の上部にターゲット板Cを取り付け、レーザースポットをターゲット板Cの中心に照射するように誘導すれば、ターゲットA1、A2、A3で行った方法で位置を計測できる。

#### 【0011】<ニ>ターゲット板A

基準用のターゲット板Aは、すりガラスで形成し、その中心からの一定の距離離れた位置にマーカー31を設ける(図5参照)。ターゲット板A上に鉛直用レーザー装置41から発射された鉛直レーザーのスポット44と画像スキャニング装置1から発射されたレーザースポット

45が照射される。これらスポットを画像カメラ2で撮影すると、これらスポットの距離( $\Delta x$ 、 $\Delta y$ )を画像解析して、正確な基準位置が求められ、計測している位置の関係を求めることができる。この関係から回転ミラーの角度を修正し、両スポットを一致させることもできる。マーカー31を4点設けると、2次射影変換と呼ばれる手法を使うことができ、その結果、ターゲット板を任意の角度から斜めに撮影しても、真上から撮影した状態に座標変換することができる。2次射影変換は、航空写真測量での写真解析等で一般に使用されている手法であり、このためには、マーカー31の個数が4点以上必要である。但し、マーカー31は、画像認識しやすい大きさと輝度のものが好ましく、画像認識によりターゲット板Aの中心位置が解析される。また、本発明の装置で使用するターゲット板は、原理的にはマーカーが1つ箇所だけのものやマーカーが無いものでも使用できる。

#### 【0012】<ホ>目標物までの距離計測

目標物、ターゲット板などまでの距離計測の測定は、光波測距儀3、又は画像カメラ2の撮影像を用いる行うことができる。一例として、目標物を画像カメラ2で撮影した像から目標物までの距離Lを測定する(図6参照)。目標物の実長H、撮像長h、目標物までの距離L、焦点距離Fの間には、

$$L = (H \times F) / h$$

の関係が成り立つ。ここで、撮像長hとは、画像カメラ2がCCDカメラの場合であれば、CCD素子に投影された像の長さのことである。撮像長hは、CCD素子の有効寸法と出力画像に写っている像の寸法比から求めることができる。実際には画像処理を行うので、画像処理装置の分解能によって縦×横が512×512ドット、640×400ドットという形で決まる。いま、画像処理装置が縦×横が512×512ドットであったとし、これに対応したCCD素子の使用エリアが5mm×5mmであったとすれば、縦横比は1:1であるため、画像に写った物体の大きさは1ドット当たり5mm/512=0.0098mmに相当することが分かる。この様にして、撮像長hを求めることができる。次に、画像カメラ2に使用しているレンズの焦点距離Fは既知であり、実際の目標物の実長Hも既知であることから、目標物までの距離Lを求めることができる。

#### 【0013】<ヘ>3次元位置計測装置

3次元位置計測装置は、制御用コンピュータ61を中心に、画像スキャニング装置1、表示器66、鉄骨位置設計データ記憶器62、ターゲット板位置データ記憶器63、鉄骨建て方位置累積記憶器64、画像スキャニング装置位置累積記憶器65などから構成されている(図7参照)。画像スキャニング装置1を一体化または分離して配置しても良い。制御用コンピュータ61は、ターゲット板位置データや鉄骨位置設計データに基づいて回転ミラーの走査制御や画像処理を行う。また、この時得られ

た建て方中の鉄骨位置データや画像スキャニング装置位置データも記憶する機能を有しており、スキャニング中はこれらのデータを基に目標点をトラッキングすることが可能となる。したがって、タワークレーンなどの移動物体に画像スキャニング装置1を設置していても、目標点が撮影範囲にある限り追従計測が可能となる。また、施工後の施工記録として保存することも可能である。

#### 【0014】<ト>画像スキャニング装置の角度調整

画像スキャニング装置1の位置は揺れや風などで不確定なため、鉄骨を計測する時点で精密な装置の位置を確定する必要がある。そのため、本発明では、ターゲット板Aに基準位置の変動のない鉛直レーザースポットを照射し、そのスポットを基準にして、画像スキャニング装置1の位置を確定している。鉛直レーザースポットを基に回転ミラーを調整する方法としては、両スポットが一致するまで角度調整を続ければ良い。しかし、この方法では、修正に時間を要する。そこで、設計上の装置位置と鉛直レーザースポットとの距離Mは、求められるため、ミラーを立体的に $\theta$ 度動かした場合、レーザースポットが $M \times \sin \theta$ の値を移動する。それ故、画像処理から求めた $\Delta x$ 、 $\Delta y$ と設計上の距離Mから角度 $\theta$ を逆算し、この値に基づいてミラーを走査すれば、微調整を繰り返しながら一致させるよりも早く誘導することができる。実際には、画像スキャニング装置を設置した時点で、設置位置を測量的手段で測定し、予め装置に初期値として入力しておくので誤差は最小限に押さえることができる。画像処理により画像スキャニング装置の位置ずれを補正しているため、ターゲット板をカメラの画角内に常に納める必要がある。そのために、多少広角気味に撮影するようにする。しかし、ターゲット板が余り小さく撮影されると、画像処理の解像度が落ち、結果的に測定精度が落ちる。そこで、測定装置の位置ずれが大きくなると予想される時は広角ぎみに、そうでないときは望遠気味にすることが望ましい。画像スキャニング装置には、レーザー照射器を内蔵しており、画像カメラや光は測距儀と光軸を一致させて配置してある。従って、画像処理を行う場合には必ずしもレーザーを照射しなくとも、捉らえた画像の中心が照射レーザーのスポットという関係が成立しているが、計測しているポイントに対して、レーザースポットを照射し、目視によって計測動作を確認したり、目視によって建て方作業を行うことも考慮してレーザー照射を行っても良い。

#### 【0015】

【発明の効果】本発明により、次のような格別な効果を得ることができる。

<イ>専門家による測量を必要とせず、計測が自動的に行えるので、計測作業の省力化、省人化、短縮化が図れる。

<ロ>計測対象(鉄骨)が動いても、計測サイクルが早いいため追従測定が可能であり、また、複数の鉄骨位置を

高速に測定できるため、1つの鉄骨を位置決めした結果、その他の鉄骨にどのような影響が出るか知ることができる。

<ハ>タワークレーンなどの動く場所に画像スキャニング装置を設置しても、装置自身の位置を常に計測しているので、動きに対して影響なく測定できる。

<ニ>測定対象が複数でも、全体を一括してデジタル表示できるため、計測装置の操作を知らないものでも簡単に利用できる。

<ホ>施工中のデータをプリンタや磁気ディスクなどに記録保存できるため、計測後の分析検討記録として利用できる。

<ヘ>鉄骨自体にもレーザーなどの光を設計位置に照射\*

\*できるので、目視に因って作業を進めることができる。

<ト>全体がシステム化されているため、ウインチやジャッキと組み合わせた鉄骨建て方の全自動化システムにも対応しやすい。

【図面の簡単な説明】

【図1】画像スキャニング装置の構成図

【図2】画像スキャニング装置の位置計測説明図

【図3】画像スキャニング装置の角度 $\alpha$ の解法説明図

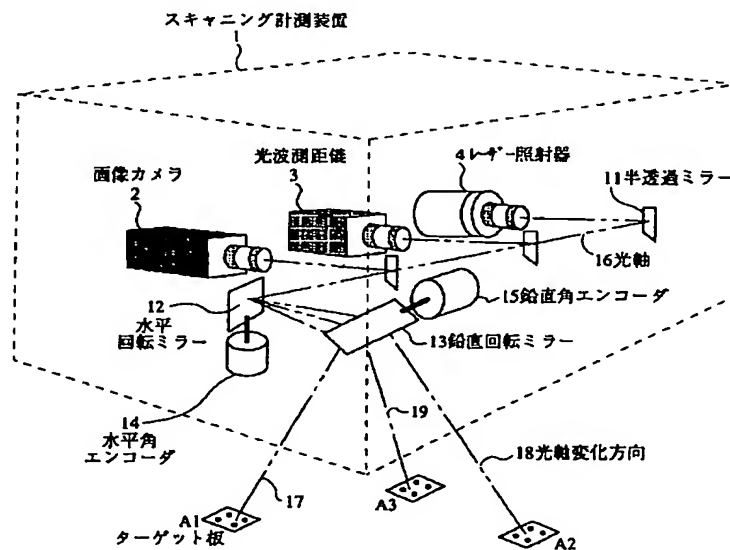
【図4】建て込み中の鉄骨の位置測定図

【図5】ターゲット板Aの構成図

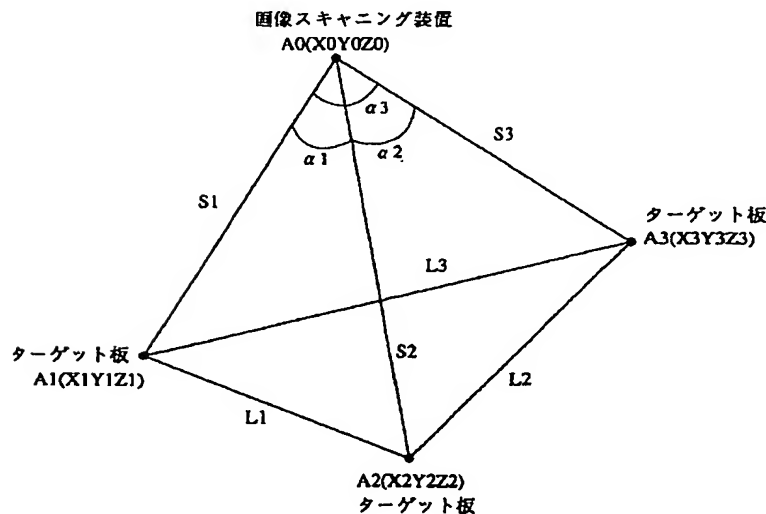
【図6】目標物までの距離計測図

【図7】3次元位置計測システム図

【図1】



【図2】



スキャニング計測装置 1

水平回転ミラー  
鉛直回転ミラー

レーザー照射器 (4)

画像カメラ (2)

光波測距儀 (3)

制御用コンピュータ (61)

表示器 (66)

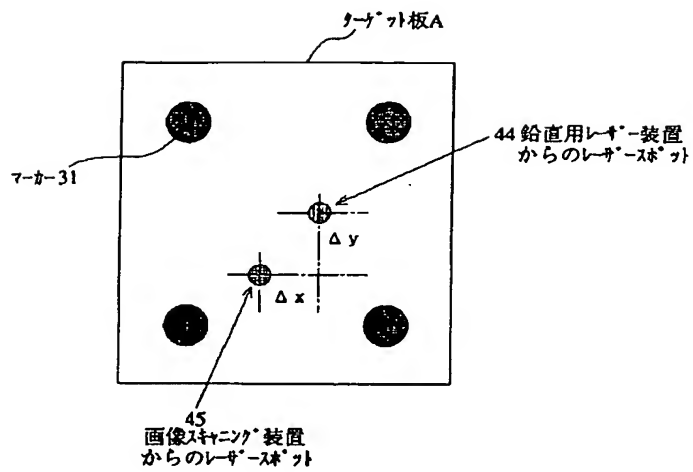
鉄骨位置設計データ記憶器 (62)

鉄骨建て方位位置累積記憶器 (64)

ターゲット板位置データ記憶器 (63)

画像スキャニング装置位置累積記憶器 (65)

【図5】



【図6】

